

REMARKS

Claims 1-4 are pending, with claim 1 being the sole independent claim. Claims 9 and 11-13 have been canceled and claims 1-4 have been amended. In particular, claim 1 has been amended to incorporate the subject matter of canceled claim 9. No new matter has been added.

Applicant respectfully requests the Examiner to reconsider and withdraw the outstanding rejections in view of the foregoing amendments and following remarks.

Priority

Submitted herewith is a copy of priority document JP 2003-283057, downloaded from the European Patent Office website.

Claim Rejections – 35 U.S.C. § 112

- I -

The rejection of claims 1-4, 9, and 11-13 under 35 U.S.C. § 112, first paragraph, as allegedly failing to comply with the enablement requirement is respectfully traversed.

Applicant respectfully submits that the synthetic high-molecular compound of the present invention can be made by one of ordinary skill in the art based on the disclosure of the present application coupled with public, known art.

In particular, as explained in the present specification, a first organosilicon polymer and a second organosilicon polymer are alternately and linearly linked with each other by siloxane bonds to form a large third organosilicon polymer. (See, for example, paragraph [0013] on page 8 of the present specification).

Further, JP 57-131250 ("Takeda"), cited by the Examiner, discloses a method for forming a silicon resin composition from silsesquioxane polymer S1,

S2 (corresponding to the presently claimed first organosilicon polymer) and siloxane polymer S3 (corresponding to the presently claimed second organosilicon polymer) (see line 15 of lower left column on page 2 through line 8 of upper right column on page 3). Therefore, Applicant respectfully submits that it is within the skill of one of ordinary skill in the art to form a third organosilicon polymer from a first organosilicon polymer and a second organosilicon polymer.

Applicant further respectfully submits one of ordinary skill in the art could readily form the synthetic high-molecular compound of the present invention from plural third organosilicon polymers by an addition reaction (*i.e.*, linking the plural third organosilicon polymers with each other through a covalent bond), as disclosed, for example, on page 12, paragraph [0019], of the present specification.

Accordingly, reconsideration and withdrawal of the rejection of claims 1-4, 9, and 11-13 under 35 U.S.C. § 112, first paragraph, is respectfully requested.

- II -

Any grounds which may have existed for the rejection of claims 1-4, 9, and 11-13 under 35 U.S.C. §112, second paragraph, are believed obviated by the foregoing amendments to claims 1-4 and cancellation of claims 9 and 11-13.

Claim Rejections – 35 U.S.C. § 102/103

- I -

The rejection of claims 1, 2, 9, and 11 under 35 U.S.C. § 102(b) as allegedly anticipated by or, in the alternative, under 35 U.S.C. § 103(a) as allegedly obvious over U.S. Patent No. 5,612,399 (“Beckley”) is respectfully traversed.

The synthetic high-molecular compound of the present invention is formed by sterically linking plural third organosilicon polymers through covalent bonds. Thus, the synthetic high-molecular compound of the present invention has a

three-dimensional steric structure formed by linking plural third organosilicon polymers.

Further, in the synthetic high-molecular compound of the present invention, the molecular weight of the first organosilicon polymer is lower than that of the second organosilicon polymer. As a result, the synthetic high-molecular compound of the present invention can maintain a heat resistance characteristic of the first organosilicon polymer and a flexibility characteristic of the second organosilicon polymer to exhibit both high heat resistance and high withstand voltage.

Column 3, lines 4-7, of Beckley state, "The silicone blend comprises a silsesquioxane component comprising at least one silsesquioxane polymer and at least one polydiorganosiloxane component". The silsesquioxane component of Beckley corresponds to the presently claimed first organosilicon polymer and the polydiorganosiloxane component of Beckley corresponds to the presently claimed second organosilicon polymer.

Beckley does not disclose the molecular weights of the silsesquioxane component and the polydiorganosiloxane component. Column 3, lines 9-12, of Beckley, however, disclose that "the silsesquioxane component has a viscosity of about 500,000 centipoise and above and the polydiorganosiloxane component had a viscosity of from about 10 to about 100 centipoise". Generally, the higher the molecular weight of a polymer, the higher the viscosity of the polymer. Therefore, the molecular weight of the silsesquioxane component of Beckley (corresponding to the presently claimed first organosilicon polymer) is higher than that of the polydiorganosiloxane component of Beckley (corresponding to the presently claimed second organosilicon polymer).

Accordingly, the relationship between the molecular weight of the first organosilicon polymer and the molecular weight of the second organosilicon polymer of Beckley is opposite that of the present invention. Therefore, while the silicone blend of Beckley may exhibit high heat resistance, the silicone blend of Beckley does not exhibit high withstand voltage. Because the molecular

weight of the silsesquioxane component of Beckley is higher than that of the polydiorganosiloxane component of Beckley, the silicone blend of Beckley has poor flexibility. Accordingly, the silicone blend of Beckley can only be applied at low thickness levels, and thus, breakdown of the silicone blend of Beckley will occur at low voltages.

In summary, in the synthetic high-molecular compound of the present invention, the molecular weight of the first organosilicon polymer is lower than that of the second organosilicon polymer. In Beckley, however, the molecular weight of the first organosilicon polymer is higher than that of the second organosilicon polymer.

Accordingly, withdrawal of the rejection of claims 1-4, 9, and 11-13 under 35 U.S.C. § 102(b) as anticipated by or, in the alternative, under 35 U.S.C. § 103(a) as obvious over Beckley is respectfully requested.

- II -

Claims 1, 2, 9, and 11 stand rejected under 35 U.S.C. § 102(b) as allegedly anticipated by or, in the alternative, under 35 U.S.C. § 103(a) as allegedly obvious over U.S. Patent Application Publication No. 2002/0122946 ("Kuck"). This rejection is respectfully traversed.

Paragraph [0008] on page 1 of Kuck states that "the invention features a composition including first and second polymers. The first polymer includes a first network of cross-linked silicone oligomers. The second polymer includes a second network of alkyl silsesquioxane oligomers crosslinked by siloxane bonds". The second polymer of Kuck corresponds to the presently claimed first organosilicon polymer and the first polymer of Kuck corresponds to the presently claimed second organosilicon polymer.

Composition 10 of Kuck is shown in Fig. 1 and Fig. 7C of Kuck. As shown in the Figures, composition 10 is formed from the first polymer 12 and the second polymer 14. Further, paragraph [0024] on page 1 of Kuck discloses, "In the first polymer 12, dialkyl siloxane oligomers 16 and cross-linker molecules 18 bind

together through the addition of silicone hydrides of the cross-linker molecules 18 to vinyl-substitutions on the siloxane oligomers 16. In the second polymer 14, alkyl silsesquioxane oligomers 20 are bound together through siloxane bonds”.

Therefore, the second polymer 14 of Kuck (corresponding to the presently claimed first organosilicon polymer) and the first polymer 12 of Kuck (corresponding to the presently claimed second organosilicon polymer) are not linked molecularly.

Further, paragraph [0025] on page 2 of Kuck states, “Instead of molecular bonding, physical interpenetration holds polymer 12 and polymer 14 together and makes composition 10 physically integral”. Therefore, the composition 10 has a steric structure formed by physically mixing the first polymer 12 and the second polymer 14.

Composition 10 of Kuck, having a steric structure formed by physical mixing as opposed to a steric structure formed by chemical bonds, cannot overcome undesirable characteristics of the first polymer 12 and the second polymer 14. Therefore, composition 10 of Kuck does not exhibit both high heat resistance and high withstand voltage, as does the synthetic high-molecular compound of the present invention.

In summary, the synthetic high-molecular compound of the present invention has a steric structure formed by chemical bonds. However, the polymeric composition of Kuck has a steric structure formed by physical mixing.

Accordingly, withdrawal of the rejection of claims 1-4, 9, and 11-13 under 35 U.S.C. § 102(b) as anticipated by or, in the alternative, under 35 U.S.C. § 103(a) as obvious over Kuck is respectfully requested.

- III -

The rejection of claims 1, 2, 9, and 11 under 35 U.S.C. § 102(b) as allegedly anticipated by or, in the alternative, under 35 U.S.C. § 103(a) as allegedly obvious over Takeda is respectfully traversed.

As noted above, Takeda discloses a silicon resin composition formed from silsesquioxane polymer S1, S2 and siloxane polymer S3. The silsesquioxane polymer S1, S2 of Takeda corresponds to the presently claimed first organosilicon polymer and the siloxane polymer S3 of Takeda corresponds to the presently claimed second organosilicon polymer.

According to Table 1 of Takeda, however, the molecular weight of silsesquioxane polymer S1 is 8×10^4 and the molecular weight of the siloxane polymer S3 is 6×10^4 (or 10^3). Thus, the molecular weight of the silsesquioxane polymer S1 is higher than that of siloxane polymer S3.

Therefore, the relationship between the molecular weight of the first organosilicon polymer and the molecular weight of the second organosilicon polymer in Takeda is opposite that of the present invention. Accordingly, while the silicone blend of Takeda may exhibit high heat resistance, the silicone blend of Takeda does not exhibit high withstand voltage. As shown in Fig. 1 and Fig. 3 of Takeda, when the silicon resin composition of Takeda is used, the maximum film thickness for preventing cracking is 20 μm . Therefore, the silicon resin composition of Takeda cannot be applied with a thickness of more than 200 μm as in the present invention (see, for example, paragraph [0030] on page 20 of the present specification), and does not exhibit high withstand voltage, *e.g.*, of more than 5 kV (see, for example, Second Example on pages 22-28 of the present specification).

In summary, in the synthetic high-molecular compound of the present invention, the molecular weight of the first organosilicon polymer is lower than that of the second organosilicon polymer. In Takeda, however, the molecular weight of the first organosilicon polymer is higher than that of the second organosilicon polymer.

Accordingly, withdrawal of the rejection of claims 1-4, 9, and 11-13 under 35 U.S.C. § 102(b) as anticipated by or, in the alternative, under 35 U.S.C. § 103(a) as obvious over Takeda is respectfully requested.

Claim Rejections – 35 U.S.C. § 103

- I -

Claims 1-4, 9, and 11-13 stand rejected under 35 U.S.C. § 103(a) as allegedly unpatentable over Beckley in view of U.S. Patent Application Publication Nos. 2002/0004251 (“Roberts”) and 2002/0057057 (“Sorg”). This rejection is respectfully traversed.

As noted above, in Beckley, the molecular weight of the first organosilicon polymer is higher than that of the second organosilicon polymer; in contrast, in the synthetic high-molecular compound of the present invention, the molecular weight of the first organosilicon polymer is lower than that of the second organosilicon polymer.

Neither Roberts, which was merely cited as disclosing “the use of a polymer as an encapsulation material in either a SiC semiconductor element or a GaN semiconductor element” (page 9), nor Sorg, which was merely cited as disclosing “the use of high-temperature resistant material as an encapsulation material in a wide band gap semiconductor device” (page 9), rectifies the fundamental failure of Beckley to disclose or suggest a molecular weight of a first organosilicon polymer lower than that of a second organosilicon polymer as presently claimed.

It follows logically that even when the disclosures of Beckley, Roberts, and Sorg are considered together for all that they disclose, the resulting combination fails to make out a proper *prima facie* case of obviousness of the presently claimed invention. Therefore, Applicants respectfully request reconsideration and withdrawal of this rejection as well.

- II -

Claims 1-4, 9, and 11-13 stand rejected under 35 U.S.C. § 103(a) as allegedly unpatentable over Kuck in view of Roberts and Sorg. This rejection is respectfully traversed.

As noted above, a polymeric composition of Kuck has a steric structure formed by physical mixing; in contrast, the synthetic high-molecular compound of the present invention has a steric structure formed by chemical bonds.

Neither Roberts, which was merely cited as disclosing "the use of a polymer as an encapsulation material in either a SiC semiconductor element or a GaN semiconductor element" (page 9), nor Sorg, which was merely cited as disclosing "the use of high-temperature resistant material as an encapsulation material in a wide band gap semiconductor device" (page 9), rectifies the fundamental failure of Kuck to disclose or suggest a synthetic high-molecular compound having a steric structure formed by chemical bonds.

It follows logically that even when the disclosures of Kuck, Roberts, and Sorg are considered together for all that they disclose, the resulting combination fails to make out a proper *prima facie* case of obviousness of the presently claimed invention. Therefore, Applicants respectfully request reconsideration and withdrawal of this rejection as well.

- III -

Claims 3, 4, 12, and 13 stand rejected under 35 U.S.C. § 103(a) as allegedly unpatentable over Takeda in view of Roberts. This rejection is respectfully traversed.

As noted above, in Takeda, the molecular weight of the first organosilicon polymer is higher than that of the second organosilicon polymer; in contrast, in the synthetic high-molecular compound of the present invention, the molecular weight of the first organosilicon polymer is lower than that of the second organosilicon polymer.

Roberts, which was merely cited as disclosing "the use of a polymer as an encapsulation material in either a SiC semiconductor element or a GaN semiconductor element" (page 9), does not rectify the fundamental failure of Takeda to disclose or suggest a molecular weight of a first organosilicon polymer lower than that of a second organosilicon polymer as presently claimed.

It follows logically that even when the disclosures of Takeda and, Robert are considered together for all that they disclose, the resulting combination fails to make out a proper *prima facie* case of obviousness of the presently claimed invention. Therefore, Applicants respectfully request reconsideration and withdrawal of this rejection as well.

Conclusion

Favorable action on the application in the form of a Notice of Allowance is earnestly solicited.

If there are any questions regarding this Reply or the application in general, a telephone call to the undersigned at (202) 624-2845 would be appreciated since this should expedite the examination of the application for all concerned.

If necessary to effect a timely response, this paper should be considered as a petition for an Extension of Time sufficient to effect a timely response, and please charge any deficiency in fees or credit any overpayments to Deposit Account No. 05-1323 (Docket # 102253.57240US).

Respectfully submitted,

April 9, 2008



J. B. Evans
Registration No. 26,269

CROWELL & MORING LLP
Intellectual Property Group
P.O. Box 14300
Washington, DC 20044-4300
Telephone No.: (202) 624-2500
Facsimile No.: (202) 628-8844
JDE/AB
doc. # 5302363

PCT/JP 2004/010315

22. 7. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

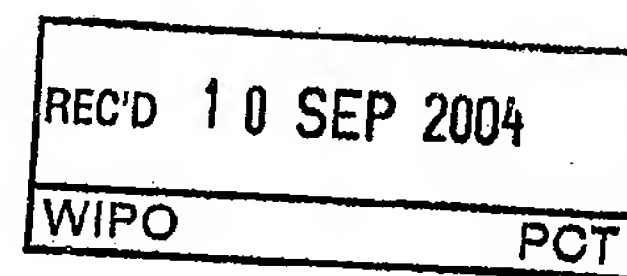
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 7 月 3 0 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 2 8 3 0 5 7
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 2 8 3 0 5 7]

出 願 人
Applicant(s): 関西電力株式会社

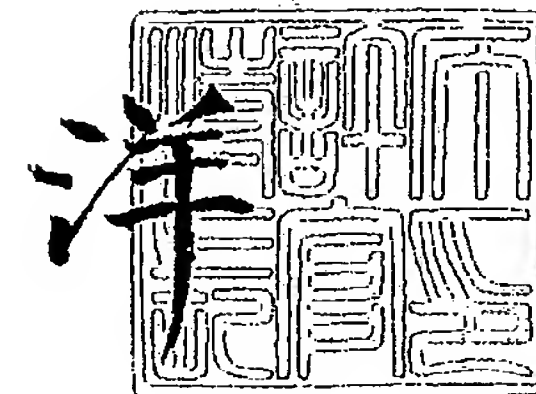


**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 8 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 7 6 7 0 1

【書類名】 特許願
【整理番号】 FKSD0716S
【提出日】 平成15年 7月30日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/312
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪市北区中之島3丁目3番22号 関西電力株式会社内
 【氏名】 菅原 良孝
【特許出願人】
 【識別番号】 000156938
 【住所又は居所】 大阪市北区中之島3丁目3番22号
 【氏名又は名称】 関西電力株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100062926
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 東島 隆治
【選任した代理人】
 【識別番号】 100113479
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 大平 覺
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 031691
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

半導体素子、及び半導体素子を外部の機器に電氣的に接続するための電気接続手段の少なくとも一部分を被覆する合成高分子化合物を有する半導体装置において、

前記合成高分子化合物が、シロキサン (Si-O-Si 結合体) による橋かけ構造を有する少なくとも 1 種の第 1 の有機珪素ポリマーと、シロキサンによる線状連結構造を有する少なくとも 1 種の第 2 の有機珪素ポリマーとを、シロキサン結合により連結させた第 3 の有機珪素ポリマーの複数のものを、付加反応により生成される共有結合で連結し、三次元の立体構造に形成した化合物であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

前記合成高分子化合物は、シロキサンによる橋かけ構造を有する第 1 の有機珪素ポリマーと、シロキサンによる線状連結構造を有する第 2 の有機珪素ポリマーとを交互にシロキサン結合により線状に連結させて第 3 の有機珪素ポリマーを構成し、前記第 3 の有機珪素ポリマーの複数のものを、付加反応により生成される共有結合で連結して三次元の立体構造に形成した化合物であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体装置。

【請求項 3】

前記半導体素子がワイドギャップ半導体を用いた SiC 半導体素子および GaN 半導体素子のいずれか一方であり、

前記第 1 の有機珪素ポリマーが、ポリフェニルシルセスキオキサン、ポリメチルシルセスキオキサン、ポリエチルシルセスキオキサン及びポリプロピルシルセスキオキサンの群から選択した少なくとも 1 つであり、

前記第 2 の有機珪素ポリマーが、ポリジメチルシロキサン、ポリジエチルシロキサン、ポリジフェニルシロキサン及びポリメチルフェニルシロキサンの群から選択した少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 記載の半導体装置。

【請求項 4】

前記半導体素子がワイドギャップ半導体受光素子とワイドギャップ半導体発光素子のいずれか一方または両方を組み合わせたものであり、

前記第 1 の有機珪素ポリマーが、ポリフェニルシルセスキオキサン、ポリメチルシルセスキオキサン、ポリエチルシルセスキオキサン及びポリプロピルシルセスキオキサンの群から選択した少なくとも 1 つであり、

前記第 2 の有機珪素ポリマーが、ポリジメチルシロキサン、ポリジエチルシロキサン、ポリジフェニルシロキサン及びポリメチルフェニルシロキサンの群から選択した少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 記載の半導体装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】高耐熱半導体装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、高耐熱性を有するワイドギャップ半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

炭化珪素（以下、SiCと記す）等のワイドギャップ半導体材料はシリコン（以下、Siと記す）に比べて、エネルギーギャップが大きく絶縁破壊電界強度も約1桁大きい等の優れた物理特性を有しており、高耐熱かつ高耐電圧のパワー半導体装置に用いるのに好適な半導体材料として注目されている。

SiCを用いた従来例の高耐熱・高耐電圧のパワー半導体装置の例としては、以下に示すSiCダイオード素子を用いたものが、2001年の国際学会論文集「Proceedings of 2001 International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's」の27頁から30頁（以下、先行技術1）に開示されている。このSiCダイオード素子では、SiC基板上に電荷を注入するpn接合をエピタキシャル成長技術によるエピタキシャル膜で形成する。基板の端部領域のエピタキシャル膜をメサエッチングで除去した後、電界を緩和するターミネーション部をイオン打ち込みで形成する。具体的には、深さ約1 μ mのメサエッチング処理で厚さ0.7 μ mのp型エピタキシャル層を除去し、0.4 μ mの二酸化シリコンなどの無機物膜でパッシベーション膜を形成している。この従来例は、12kV～19kVの高耐電圧を有するSiCダイオード素子である。

【0003】

図5は前記従来例のSiCダイオード素子を用いてSiCダイオード装置を構成した場合のパッケージの断面図である。図において、下面にカソード端子92を有する金属製の支持体93の上面にSiCのダイオード素子90がそのカソード電極97を接して取付けられている。支持体93にはさらに、絶縁物12を介して絶縁を保ちつつ支持体93を貫通するアノード端子91が設けられている。アノード端子91はリード線8で、SiCダイオード素子90のアノード電極96に接続されている。支持体93の上面には、ダイオード素子90を覆うように金属製のキャップ94が設けられ、ダイオード素子90を含む空間95を密封している。この空間95には六弗化硫黄ガスが充填されている。六弗化硫黄ガスを充填する理由は次の通りである。アノード電極96と、パッシベーション膜98で被覆されていない露出側面90aとの間は、沿面距離が短いので耐電圧を高くすることができない。この耐電圧を高くするために、パッケージ内に絶縁用ガスとして六弗化硫黄ガスを充填している。絶縁用ガスとして窒素ガスなどの不活性ガスやアルゴンなどの希ガスを用いたのでは、最大絶縁破壊電界が低いために、高電圧の印加時にガス中で放電を起こし、SiCダイオード素子90そのものや、二酸化シリコンなどのパッシベーション膜98が破壊されてしまう。そこで耐電圧を高くするために、150℃程度の高温でも極めて安定な六弗化硫黄ガスを充填して放電による絶縁破壊を防ぐようにしている。

【特許文献1】特許第3395456号公報

【特許文献2】特許第3409507号公報

【非特許文献1】「Proceedings of 2001 International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's」の27頁から30頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

六弗化硫黄ガスは絶縁用ガスとしては現在のところ最も優れた絶縁性を持つが、弗素を含んでいるため、地球温暖化防止の観点から使用を避ける必要がある。特に高い絶縁性を得るためには半導体装置内に充填する六弗化硫黄ガスの圧力を常温で2気圧程度にする必要がある。半導体装置の使用中に温度が上昇すると、この圧力は2気圧以上に高くなるので、半導体装置のパッケージを相当堅牢にしないと爆発やガス漏れの危険性がある。ワイ

ドギャップ半導体装置は500℃近い高温で動作させる場合もあるが、その場合にはガスが熱膨張しガス圧は相当高くなり、爆発やガス漏れリークの危険性が更に増すとともに、六弗化硫黄ガスが熱分解し耐電圧が低下するなどの問題がある。

【0005】

六弗化硫黄ガス以外の物質で優れた絶縁性を有する従来の材料としては、シロキサン（Si-O-Si結合体）の線状構造をもつポリメチルフェニルシロキサンを含む合成高分子化合物や、シロキサンの橋かけ構造をもつポリフェニルシルセスキオキサンを含む合成高分子化合物がある。前者は一般にシリコンゴム（Siゴム）と呼ばれている。温度が150℃以下では、これらの合成高分子化合物の被覆体で半導体素子（半導体チップ）全体を覆うことで高い絶縁性を保つことができる。

【0006】

ポリメチルフェニルシロキサンは耐熱性がそれほど高くないが、Siパワー半導体素子のように接合温度が150℃以下の範囲で使用するものの場合は問題がない。しかしワイドギャップ半導体材料のSiCを用いる半導体素子のように、200℃以上の高温で使用する場合は耐熱性が十分とはいえない。使用中にSiC半導体素子の温度が200℃以上になるとポリメチルフェニルシロキサンの被覆体は柔軟性が乏しくなる。また空気中で250℃以上になるとガラス化して完全に堅くなってしまふ。そのためSiC半導体素子の温度が室温に戻ると、ポリメチルフェニルシロキサンの被覆体の内部に多数のクラックが発生する。また、ポリメチルフェニルシロキサンで被覆した素子を高温で長時間六弗化硫黄ガスなどの不活性ガス中で動作させると、重量の減少が生じて素子表面近傍でボイドやクラックが発生する。これはポリメチルフェニルシロキサンの側鎖のメチル基やフェニル基が分解して蒸発するためと推察される。ボイドやクラックが発生すると素子の表面保護が不完全になりリーク電流が増大する。さらにクラック発生時に素子のパッシベーション膜を損傷することがあり、その結果としてリーク電流が大幅に増加して半導体素子の破壊に至る場合もある。以上のようにポリメチルフェニルシロキサンは低温では耐熱性が良いが高温ではその機能が失われるという欠点がある。

【0007】

ポリフェニルシルセスキオキサンは耐熱性は優れているが脆く、クラックが入りやすいので厚膜にするのが困難である。ポリフェニルシルセスキオキサンを用いるときは素子表面に数ミクロンの厚さで塗布する。しかし数ミクロンの厚さでは耐電圧が限られており、3kV以上の高耐電圧の半導体装置には用いることが困難であった。

【0008】

本発明は、半導体装置を構成する半導体素子を高耐電圧かつ高耐熱の物質で覆った高耐電圧のワイドギャップ半導体装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の半導体装置は、半導体素子、及び前記半導体素子を外部の機器に電氣的に接続するための電気接続手段の少なくとも一部分を合成高分子化合物で覆うことを特徴とする。前記合成高分子化合物はシロキサン（Si-O-Si結合体）による橋かけ構造を有する、ポリフェニルシルセスキオキサン、ポリメチルシルセスキオキサン、ポリエチルシルセスキオキサン及びポリプロピルシルセスキオキサンの群から選択した少なくとも1つを有する第1の有機珪素ポリマー（以下、有機珪素ポリマーAという）、及び

シロキサンによる線状連結構造を有する、ポリジメチルシロキサン、ポリジエチルシロキサン、ポリジフェニルシロキサン及びポリメチルフェニルシロキサンの群から選択した少なくとも1つを有する第2の有機珪素ポリマー（以下、有機珪素ポリマーBという）を含有している。前記有機珪素ポリマーAと前記有機珪素ポリマーBはシロキサン結合により交互に線状に連結されて大型の第3の有機珪素ポリマーを形成している。前記合成高分子化合物は、前記大型の第3の有機珪素ポリマーの複数のものが付加反応により生成される共有結合で立体的に連結されて三次元の立体構造を形成している。

【0010】

例えば有機珪素ポリマーAと有機珪素ポリマーBとが交互にシロキサン結合により線状に連結されて分子量が2万から80万の大型の第3の有機珪素ポリマーを構成し、この第3の有機珪素ポリマーの複数のものがアルキレン基で連結されているのがより好ましい。

【0011】

シロキサンの橋かけ構造を有する有機珪素ポリマーAは電気絶縁性と耐熱性に優れ、高耐電圧と高耐熱性を有しているが流動性は非常に悪い。

本発明によると、有機珪素ポリマーAを、シロキサンの線状連結構造を有する有機珪素ポリマーBを介して交互に線状に連結することにより、有機珪素ポリマーBが備えている柔軟性を失うことなく、有機珪素ポリマーAの優れた耐熱性を保持しつつ、高耐熱且つ高耐電圧という2つの特性が両立する合成高分子化合物を得ることができる。耐熱性をより高くするには有機珪素ポリマーAの分子量を大きくすると良いが、その場合柔軟性が低くなる。また、柔軟性を高くするには有機ポリマーBの分子量を大きくすると良いが、その場合耐熱性が低くなる。有機珪素ポリマーAの好ましい分子量は千から10万であり、有機珪素ポリマーBの好ましい分子量は5千から20万である。有機珪素ポリマーAの分子量を有機珪素ポリマーBの分子量よりも小さくするのが好ましい。

【0012】

本発明における合成高分子化合物は、結合のほとんどがシロキサン結合を有していることから、前記のように高い絶縁性すなわち高耐電圧性能を有するとともに、ワイドギャップ半導体素子のパッシベーション膜として使用される二酸化シリコンや窒化シリコンなどの無機物膜との親和性が極めてよく、パッシベーション膜の表面に強固に付着する。さらにSiCやGaNなどのワイドギャップ半導体そのものとも親和性が極めてよく半導体素子の表面に強固に付着するすぐれた接着性を有する。

このすぐれた接着性を有する合成高分子化合物で被覆したワイドギャップ半導体素子を有する半導体装置は高い耐湿性を有するので、信頼性の高い半導体装置を実現できる。この合成高分子化合物はSiCやGaNなどのワイドギャップ半導体との親和性が極めてよいので、例えばパッシベーション膜にピンホール等の欠陥部が存在してワイドギャップ半導体が露出している場合でも、合成高分子化合物がワイドギャップ半導体素子の表面を直接保護するパッシベーション膜として働き高い信頼性を実現できる。

【0013】

有機珪素ポリマーBはSiゴムとほとんど同じ分子構造を有する。従ってSiゴムで従来から実証されているように、パッシベーション膜用の無機物、銅、アルミニウム及びステンレス等の各種金属、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、及びフェノール樹脂などの各種樹脂及び各種ガラス等との接着性が極めて良好でありこれらに強固に付着する。このため、この合成高分子化合物の表面保護膜は半導体素子の金属電極や電気接続手段、支持体等にも強固にかつすきまなく密着して付着するので高い耐湿性が得られ、高い信頼性と高い耐電圧性能を有する半導体装置を実現できる。

【0014】

本発明における合成高分子化合物は、大部分がシロキサン構造を有するため、紫外線および可視光線に対する透光性が高い。このため合成高分子化合物を半導体素子や電気接続手段へ塗布したときの状況を目視で観察することができる。例えば目視により気泡やボイド等が存在しないことを確かめながら効率的に塗布作業を進めることができる。

本発明における合成高分子化合物を用いたワイドギャップ発光パワー半導体装置やワイドギャップ光結合パワー半導体装置においては、高温においても半導体素子を保護できる高温高耐圧機能と、高温においても光をよく透過する高効率光結合機能の両方を同時に満たすことができる。

【発明の効果】

【0015】

本発明の高耐熱ワイドギャップ半導体装置は、半導体素子の上面と側面を、少なくともシロキサン(Si-O-Si結合体)による橋かけ構造を有するポリシルセスキオキサンを主成分とする有機珪素ポリマーAとシロキサンによる線状連結構造を有する有機珪素ポ

リマーBとを含有し、有機珪素ポリマーAと有機珪素ポリマーBがシロキサン結合により交互に線状に連結して分子量が2万から80万の大型有機珪素ポリマーを構成し、この大型有機珪素ポリマー同士が付加反応により生成される共有結合で連結されて三次元の立体構造を有する合成高分子化合物で覆う構成にしている。本構成の合成高分子化合物はほとんどがシロキサン結合を有するので高温でも高耐電圧性を有するとともに、ワイドギャップ半導体およびそのパッシベーション膜として使用される二酸化シリコンや窒化シリコンなどの無機物膜との親和性が極めてよい。そのため合成高分子化合物が半導体装置の素子の表面に強固に付着するので半導体装置の高い耐湿性を達成できるとともに高い温度で動作させる場合に特に信頼性の高い高耐電圧性を実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、本発明の好適な実施例を図1から図4を参照して説明する。各図において、各要素の構成の理解を容易にするために、図示された各要素の寸法は実際の寸法とは対応していない。各実施例において、「半導体装置」とは、半導体素子をパッケージ内に収納し、半導体素子の各電極を、リード線でそれぞれの電極端子に接続したものをいう。

<<第1実施例>>

【0017】

本発明の第1実施例の高耐熱半導体装置を図1を参照して説明する。

本発明の第1実施例の半導体装置は、高耐熱かつ高耐電圧のSiC（炭化珪素）pnダイオードである。

図1は、本発明の第1実施例の耐電圧8kVのSiCpnダイオードの断面図である。図1において、SiCダイオード素子13は以下の構成を有する。厚さ約300 μ mの高不純物濃度のn型のSiCのカソード領域1の上面に厚さ約90 μ mの低不純物濃度のn型のSiCのドリフト層2が形成されている。カソード領域1の下面にはカソード電極7が形成されている。ドリフト層2の中央領域に、主接合を形成するp型のSiCのアノード領域3が形成されている。アノード領域3にはアノード電極6が形成されている。アノード領域3の周囲にはp型の電界緩和領域4が形成されている。アノード領域3及び電界緩和領域4を含むSiCダイオード素子13の上面には、二酸化シリコン層、窒化シリコン層、二酸化シリコン層の順で積層した3層構造の表面保護膜5が形成されている。アノード電極6は、電気接続手段である金のリード線8でアノード端子9の上端9aに接続されている。図1ではリード線8は1本のみ図示されているが、リード線8は、リード線8を流れる電流値に応じて複数のものを並列に接続すればよい。

【0018】

カソード電極7は金属の支持体10に電氣的接続を保って取り付けられている。支持体10にはカソード端子11が接続されている。アノード端子9とカソード端子11は外部の装置等の配線に接続される。アノード端子9と支持体10は高融点の絶縁ガラス12を介して絶縁を保ちつつ固着されている。支持体10の上面にはSiCダイオード素子13を覆うように金属製のキャップ14が設けられ、SiCダイオード素子13を含む空間15を密閉している。空間15内のSiCダイオード素子13及びリード線8の一部を覆うように合成高分子化合物の被覆体16が設けられている。被覆体16は、第1の有機珪素ポリマー（以下、有機珪素ポリマーAという）としてポリフェニルシルセスキオキサンを含有し、第2の有機珪素ポリマー（以下、有機珪素ポリマーBという）としてポリジメチルシロキサンを含有する透明な合成高分子化合物で形成される。空間15内には窒素ガスが封入されている。

【0019】

本実施例のSiCpnダイオードの製作方法の一例を以下に説明する。図1において、あらかじめ製作したSiCダイオード素子13を、金シリコンを含む高温半田を用いて支持体10の上面の所定位置に半田付けする。リードボンディング装置を用いて直径80ミクロンメートルの金線（複数）のリード線8の両端をそれぞれアノード金属電極6と、アノード端子9の上端9aとに接続する。

次にSiCダイオード素子13の全面、及びリード線8のアノード金属電極6との接続部近傍を覆うように、前記の合成高分子化合物を塗布し被覆体16を形成する。塗布方法としては、所定の直径の孔を有するノズルから所定量の合成高分子化合物を押し出す方法が適している。合成高分子化合物は塗布後200℃程度の温度で所定時間保つと、ある程度の柔軟性を有する状態で硬化する。合成高分子化合物の粘度を適切に調節して、これを塗布したとき図1の被覆体16に示すように山状に盛り上がり、SiCダイオード素子13の全体をすきまなく200μm以上の厚さで覆うことができるようにする。粘度が高すぎると、塗布したときSiCダイオード素子13と被覆体16との間にすきまができることがある。逆に粘度が低すぎると、山状に盛り上がりず被覆体16の厚さを200μm以上の所望の厚さにすることができない。

最後に窒素雰囲気中で金属キャップ14を支持体10に取り付けて溶接し、内部空間15を窒素ガスで充たしてSiCpnダイオードが完成する。

【0020】

本実施例のSiCpnダイオードのアノード端子9とカソード端子11間に、カソード端子11の電位が高くなるように電圧（逆方向電圧）を印加して測定した逆耐電圧は約8.5kVであった。例えばSiの半導体装置では動作不能である、300℃の高温においても上記の逆耐電圧を維持できた。逆方向の電圧が8kVでのリーク電流密度は $5 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ 以下であった。本実施例のSiCpnダイオードに、250℃の高温雰囲気中で200A/cm²の電流密度で電流を流し500時間連続通電試験をしたが、試験終了後の合成高分子化合物の被覆体16にクラックや変形は生じなかった。また白濁などが生じて透明度が悪化することもない。通電時の順方向電圧は4.3Vであり、500時間の通電試験の前後でほとんど変化しなかった。500時間の連続通電試験の終了後、300℃の高温雰囲気中で8kVの逆方向電圧を印加してリーク電流を測定したところ、電流密度は $3 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ であり、通電試験前との差は少なかった。前記の各試験後、半導体装置を分解して目視で観察した。その結果、有機珪素ポリマーAとしてポリフェニルシルセスキオキサンを含有し有機珪素ポリマーBとしてポリジメチルシロキサンを含有する合成高分子化合物の被覆体16がSiCダイオード素子13の電界緩和領域4の表面保護膜5の上だけでなく、SiCダイオード素子13の側面に露出したSiCの層にも強固に付着していることが確認された。なおSiCpnダイオードの動作速度の目安となる逆回復時間は約50ナノ秒であり、前記試験の前後で変化はみられなかった。

【0021】

本発明の第1実施例によれば、SiCダイオード素子13の周囲を、前記有機ポリマーAと前記有機ポリマーBを所定の割合で含有する合成高分子化合物で被覆することにより、SiCダイオード素子13を六弗化硫黄ガスの雰囲気中に置いた場合と同等の絶縁性を得ることができる。すなわち地球温暖化に悪影響を与える有害な物質の六弗化硫黄ガスを使用することなく高い耐熱性と高い絶縁性を有するSiCpnダイオードが実現できる。

<<第2実施例>>

【0022】

本発明の第2実施例の半導体装置は、耐圧5kVのSiC-GTOサイリスタ（Gate Turn Off Thyristor）装置であり、図2にその断面図を示す。図3は図2におけるGTOサイリスタ素子20を紙面に垂直な面で切断したセルの一つの断面図であり実際の素子では、図3に示すセルが、図の左右方向に複数個連結されている。図2及び図3において、厚さ約320μmの高不純物濃度のn型SiCのカソード領域21の上面に、厚さ約3μmのp型SiCのバッファ層22を設けている。カソード領域21の下面にカソード電極32が設けられている。バッファ層22の上に厚さ約60μmの低不純物濃度のp型SiCのドリフト層23を設けている。ドリフト層23の中央部に厚さ約2μmのn型のベース領域24とp型のアノード領域25が順次形成されている。n型のベース領域24の周辺にはn型の電界緩和領域26が形成されている。GTOサイリスタ素子20の表面には二酸化シリコン層、窒化シリコン層、二酸化シリコン層の3層構造の表面保護膜27が形成されている。p型のアノード領域25にはアノード電極28が形成されている。こ

のアノード電極 28 上の左側の領域には 2 層目のアノード電極 29 が形成され、右側の領域には絶縁膜 30 を介してゲート電極 31 が形成されている。図 3 に示すように、n 型のベース領域 24 には 1 層目のゲート電極 33 が形成され、ゲート電極 33 は、図示していない接続部でゲート電極 31 に接続されている。

【0023】

アノード電極 29 は金のリード線 34 によりアノード端子 35 の上端 35a に接続されている。ゲート電極 31 は金のリード線 36 によりゲート端子 37 の上端 37a に接続されている。リード線 34、36 及びアノード端子 35 及びゲート端子 37 は電気接続手段である。カソード電極 32 はカソード端子 39 を有する金属の支持体 38 に取り付けられている。アノード端子 35 及びゲート端子 37 は、それぞれの高融点絶縁ガラス 40 及び 41 で支持体 38 との間の絶縁を保ちつつ支持体 38 を貫通して固定されている。

GTOサイリスタ素子 20 の全面、及びリード線 34 及び 36 の GTOサイリスタ素子 20 との接続部近傍を覆うように、合成高分子化合物の被覆体 42 を塗布する。被覆体 42 は有機珪素ポリマー A としてポリメチルシルセスキオキサンを含有し、有機珪素ポリマー B としてポリメチルフェニルシロキサンを含有する合成高分子化合物である。最後に窒素雰囲気中で金属キャップ 43 を支持体 38 に取り付け溶接することにより内部空間 44 に窒素ガスが封入された SiC-GTOサイリスタ装置が完成する。

【0024】

なお、GTOサイリスタ素子 20 は金シリコンの高温半田を用いて支持体 38 に半田付けされる。リード線 34、36 は直径 80 ミクロンメートルの金線であり、リードボンディング装置を用いてそれぞれアノード電極 29 とアノード端子 35 間及びゲート電極 31 とゲート端子 37 間に取り付けられる。図 2 では、リード線 34、36 はそれぞれ 1 本ずつ図示されているが、リード線 34、36 は、リード線 34、36 を流れるそれぞれの電流値に応じて複数のものを並列に接続してもよい。

本第 2 実施例の SiC-GTOサイリスタ装置において、アノード端子 35 の電位がカソード端子 39 よりも高電位になるように順方向に 5 kV 電圧を印加し、ゲート端子 37 の電位をアノード端子 35 と同電位にすると、電流が流れないオフ状態が維持され、5 kV の耐電圧が得られた。

【0025】

次にこのオフ状態でゲート端子 37 の電位をアノード端子 35 よりも低電位にし、アノード端子 35 からゲート端子 37 に向けてゲート電流を流すと、SiC-GTOサイリスタ装置はオン状態になり、アノード端子 35 とカソード端子 39 間に電流が流れる。さらにオン状態でゲート端子 37 の電位をアノード端子 35 よりも高電位にすると、アノード端子 35 とカソード端子 39 間に流れている電流がゲート端子 37 からカソード端子 39 間に転流し、オフ状態になる。このときのアノード端子 35 とカソード端子 39 間の電圧が逆耐電圧である。

具体的には、カソード端子 39 に負の電圧を印加し、ゲート端子 37 にアノード端子 35 を基準にしてビルトイン電圧以上の電圧を印加すると、SiC-GTOサイリスタ装置はオンとなる。このときドリフト層 23 内にカソード領域 22 から電子が注入されるため、伝導度変調が生じ、オン抵抗が大幅に低下する。SiC-GTOサイリスタがオンした状態において、ゲート端子 37 の電位をアノード端子 35 の電位より高くすると、アノード端子 35 とカソード端子 39 間を流れる電流の一部がゲート端子 37 から引き抜かれることになり、GTOサイリスタをオフ状態にすることができる。

【0026】

本第 2 実施例の SiC-GTOサイリスタ装置の逆耐電圧は約 5.8 kV であり、250℃の高温雰囲気中でもこの逆耐電圧を維持できた。逆方向電圧が 5 kV でのリーク電流密度は $3 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ 以下と良好であった。本実施例の SiC-GTOサイリスタ装置について、以下の第 1 及び第 2 の動作試験を行った。

第 1 の動作試験では、本実施例の SiC-GTOサイリスタに 200 A/cm^2 の電流密度で電流を流しつつ、250℃の高温雰囲気中で 200 時間の連続動作をさせた。なお

従来からあるシリコンのGTOサイリスタでは、素子温度が250℃では動作不可能である。また5kV級のシリコンのGTOサイリスタでは電流密度が200A/cm²のものを作することは困難である。

【0027】

また第2の動作試験では、前記の電流密度で電流を流しつつ、気温80℃、湿度85%の高温高湿度の雰囲気中で200時間の連続動作をさせた。前記第1及び第2の動作試験の終了後このSiC-GTOサイリスタ装置を分解して調べたが合成高分子化合物の被覆体42が変形したりクラックや白濁が生じていなかった。

前記第1の動作試験開始直後のSiC-GTOサイリスタの順方向電圧は4.3Vであった。第1及び第2の動作試験終了後、前記第1の動作試験と同じ条件で順方向電圧を測定したが、その測定値は第1の動作試験開始時の値とほとんど変わらず、その差は測定誤差の範囲内であった。第1及び第2の動作試験終了後に逆方向の電圧5kVを印加したときのリーク電流密度は温度250℃で 5×10^{-4} A/cm²以下であり、わずかな変化であった。ターンオン時間は0.5マイクロ秒、ターンオフ時間は0.8マイクロ秒である。このスイッチング時間も前記第1及び第2の動作試験の前後で変化はみられなかった。なお本実施例のSiC-GTOサイリスタのターンオン時間及びターンオフ時間は、耐圧6kVの従来のシリコンのGTOサイリスタの約20分の1である。

GTOサイリスタ素子20に塗布した本実施例の合成高分子化合物のGTOサイリスタ素子20等への付着状態について調べたところ、合成高分子化合物は、GTOサイリスタ素子20の電界緩和領域26上の保護膜27及び側面のSiCの露出面にも強固に付着していた。

<<第3実施例>>

【0028】

本発明の第3実施例の半導体装置は、光結合ワイドギャップパワー半導体装置であり、図4にその断面図を示す。図において、発光機能を有する主パワー半導体素子としては、耐電圧3kV・電流容量200AのGaN（ガリウムナイトライド）-npnバイポーラトランジスタ51を用いている。受光素子としてはSiC-ホトダイオード52を用いている。SiCホトダイオード52はGaN-npnバイポーラトランジスタ51に対向するように同一パッケージ内に設けられている。

【0029】

図4に示すGaN-npnバイポーラトランジスタ51において、厚さ約300μmの高不純物濃度のn型のGaNコレクタ領域53の上面に厚さ約1.7μmのp型のGaNベース領域54が形成され、その上に厚さ約3μmの高不純物濃度のn型のエミッタ領域55が順次形成されている。GaNコレクタ領域53の下面にはコレクタ電極66が設けられている。GaNベース領域54の周辺のコレクタ領域53内にはn型の電界緩和領域56が形成されている。GaNベース領域54の右端部に金属のベース電極58が設けられている。n型エミッタ領域55の上に、発光窓60を有する金属のエミッタ電極59が設けられている。GaNコレクタ領域53及び電界緩和領域56の上には窒化シリコン層と二酸化シリコン層の2層構造の表面保護膜57が形成されている。

【0030】

ベース電極58は、金のリード線61によりベース端子62に接続されている。エミッタ電極59は、金のリード線63、64によりエミッタ端子65に接続されている。コレクタ電極66はコレクタ端子68を有する金属の支持体67に取り付けられている。リード線61、63、64、73、76及びエミッタ端子65、ベース端子62、コレクタ端子68、アノード端子74及びカソード端子77は電気接続手段である。リード線61、63、64、73、76は、それぞれを流れる電流値に応じて、それぞれ複数の線を並列に接続したものをを用いればよい。

【0031】

SiCホトダイオード52は、その受光部80がGaN-npnバイポーラトランジスタ51の発光窓60に対向するようにキャップ70の内側面に窒化アルミニウムなどの絶

縁板 71 を介して接着されている。SiC ホトダイオード 52 のアノード電極 72 は、金のリード線 73 により金属のアノード端子 74 に接続されている。カソード電極 75 は金のリード線 76 によりカソード端子 77 に接続されている。アノード端子 74 とカソード端子 77 はそれぞれの外部配線に接続される。アノード端子 74 及びカソード端子 77 はキャップ 70 の貫通孔に高融点絶縁ガラス 78、79 を介して固着されている。GaN-npn バイポーラトランジスタ 51、SiC ホトダイオード 52、リード線 61、63、64、73、76 及びベース端子 62 の端部及びエミッタ端子 65 の端部を覆うように、有機珪素ポリマー A としてポリエチルシルセスキオキサンを含有し、有機珪素ポリマー B としてポリジメチルシロキサンを含有する合成高分子化合物の被覆体 81 が設けられている。

【0032】

本第 3 実施例の光結合ワイドギャップパワー半導体装置の製作方法の一例を以下に説明する。あらかじめ製作した GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 を金シリコンの高融点半田を用いて支持体 67 の所定位置に半田付けする。リードボンディング装置を用いて直径 80 ミクロンメートルの金のリード線 63、64 でエミッタ電極 59 とエミッタ端子 65 を接続する。ベース電極 58 とベース端子 62 とを金のリード線 61 で接続する。硬化前の合成高分子化合物 81 の素材を GaN-npn バイポーラトランジスタ素子 51 を包み込むように厚く塗布する。

【0033】

あらかじめ製作した SiC ホトダイオード 52 を金シリコンの高融点半田を用いて、金属キャップ 70 の内側面に窒化アルミニウム絶縁板 71 を介して半田付けする。次にリードボンディング装置を用いて直径 80 ミクロンメートルの金のリード線 73 でアノード電極 72 とアノード端子 74 を接続する。またカソード電極 75 を金のリード線 76 でカソード端子 77 に接続する。次に硬化前の合成高分子化合物 81 の素材を、SiC ホトダイオード 52、リード線 73、76 の SiC ホトダイオード 52 との接続部近傍を包み込むように厚く塗布する。最後に金属キャップ 70 と支持体 67 を、SiC ホトダイオード 52 の受光部 80 が GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 の発光窓 60 に対向し、且つ両者を包み込んでいる各々の合成高分子化合物の素材が接するように組合わせて、窒素雰囲気中で溶接する。その後所定の温度に加熱して合成高分子化合物をある程度の柔軟性を有する状態に硬化させて完成する。

【0034】

第 3 実施例の光結合ワイドギャップパワー半導体装置の動作の一例を次に示す。まず、GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 のコレクタ端子 68 の電位をエミッタ端子 65 よりも高電位にして順方向バイアス状態にする。そしてベース端子 62 の電位をエミッタ端子 65 と同電位にすると、電流が流れないオフ状態が維持される。耐電圧は 3 kV で高耐電圧を実現できた。SiC ホトダイオード 52 はアノード端子 74 の電位をカソード端子 77 よりも低電位にして逆方向バイアス状態しておく。

【0035】

オンオフ駆動は次のようにする。ベース端子 62 の電位をエミッタ端子 65 の電位よりも高電位にし、ベース端子 62 からエミッタ端子 65 に向かうベース電流を流す。これにより、エミッタ電極 59 から電子が注入されて GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 がオン状態になり、約 390～570 nm の間の波長の光 50 が生じる。この光 50 は SiC ホトダイオード 52 で受光され、光量に対応した量の光電流がアノード端子 74 とカソード端子 77 間を流れる。

【0036】

GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 のオン状態のときに、ベース端子 62 の電位をエミッタ端子 65 と同電位か低電位にすると電子の注入が止まり、コレクタ電極 66 とエミッタ電極 59 間を流れる電流は遮断され、発光も停止する。SiC ホトダイオード 52 は、光がなくなるので光電流がなくなりオフ状態になる。

【0037】

本実施例の GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 の耐電圧は約 3.5 kV であり、250℃ の高温においてもこの耐電圧を維持できた。3 kV でのリーク電流密度は $2 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ 以下と良好であった。また、GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 と SiC ホトダイオード 52 間の絶縁耐圧は 5 kV 以上であり、5 kV でのリーク電流は $1 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ 以下であった。温度 250℃ で連続 1000 時間の電圧印加試験をした後でも、リーク電流の増加は測定誤差の範囲内の微少な値であった。3 kV 以上の高耐電圧を有するにもかかわらず 150 A/cm^2 の高電流密度の電流を流すことができた。また 200℃ の高温雰囲気中で 500 時間連続して通電した後でも合成高分子化合物の被覆体 81 が変形したり、クラックや白濁が生じてはいなかった。また、温度 80℃ 湿度 85% の高温高湿度雰囲気中で 200 時間通電した後でも合成高分子化合物の被覆体 81 が変形したり、クラックや白濁が生じてはいなかった。温度 200℃、電流密度 150 A/cm^2 で通電時の順方向電圧は 5.3 V であり試験前後の変化は測定誤差範囲の小さな値であった。前記の試験後に 3 kV の導電圧を印加したときのリーク電流密度は 250℃ で $3 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ 以下であり試験前に比べてほとんど変化がなかった。破壊試験をしたところ、有機珪素ポリマー A としてポリエチルシルセスキオキサンを含有し有機珪素ポリマー B としてポリジメチルシロキサンを含有する合成高分子化合物の被覆体 81 は、GaN-npn バイポーラトランジスタ 51 の側面に露出した GaN にも強固に付着していることが確認できた。なおターンオン時間は 0.09 マイクロ秒、ターンオフ時間は 0.15 マイクロ秒と高速であり、このスイッチング時間にも試験前後の変化はみられなかった。

【0038】

以上、第 1 から第 3 の 3 つの実施例を説明したが、本発明はさらに多くの適用範囲あるいは派生構造をカバーするものである。例えばワイドギャップ半導体素子の、MOSFET や接合 FET、SIT や IGBT、MOS サイリス等にも適用可能である。更に高周波高出力 MESFET やラテラル MOSFET および接合 FET、HEMT などにも適用可能である。

前記各実施例では、SiC や GaN を用いた素子や受光素子の場合のみを述べたが、本発明は他のワイドギャップ半導体材料を用いた素子にも適用できる。特に、ダイヤモンド、ガリウムリンワイドギャップ半導体材料を用いた素子にも有効に適用できる。

また各々の半導体領域の極性の n 型を p 型に、p 型を n 型に逆転させた構成の半導体装置にも当然ながら適用できる。

【0039】

有機珪素ポリマー A は、前記のポリフェニルシルセスキオキサン、ポリメチルシルセスキオキサン及びポリエチルシルセスキオキサン以外に、ポリプロピルシルセスキオキサンでもよくこれらポリキオキサンの 2 種類以上が含有されたものでもよい。更に、有機珪素ポリマー B は前記のポリジメチルシロキサンやポリジフェニルシロキサンだけでなく、ポリジエチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサンでもよく、これらポリシロキサンの 2 種類以上が含有されたものでもよい。

【0040】

第 1 及び第 2 実施例では金属キャップ 43、70 を用いた TO 型の半導体装置について説明したが、本発明は金属キャップでない高耐熱樹脂キャップの半導体装置にも適用できる。また半導体装置の構成は TO 型以外の、スタッド型や平型、高耐熱樹脂を用いた SIP 型、Si のパワーモジュールで一般的なモールド型の構成でもよい。第 3 実施例では光結合半導体装置を例示したが、発光半導体素子のみを有する半導体装置、又は受光半導体素子のみを有する半導体装置にも同様に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図 1】 本発明の第 1 実施例の SiC pn ダイオード装置の断面図

【図 2】 本発明の第 2 実施例の SiC-GTO サイリスタ装置の断面図

【図 3】 本発明の第 2 実施例の SiC-GTO サイリスタ素子の図 2 の紙面に垂直な

面の断面図

【図4】本発明の第4実施例の光結合ワイドギャップパワー半導体装置の断面図

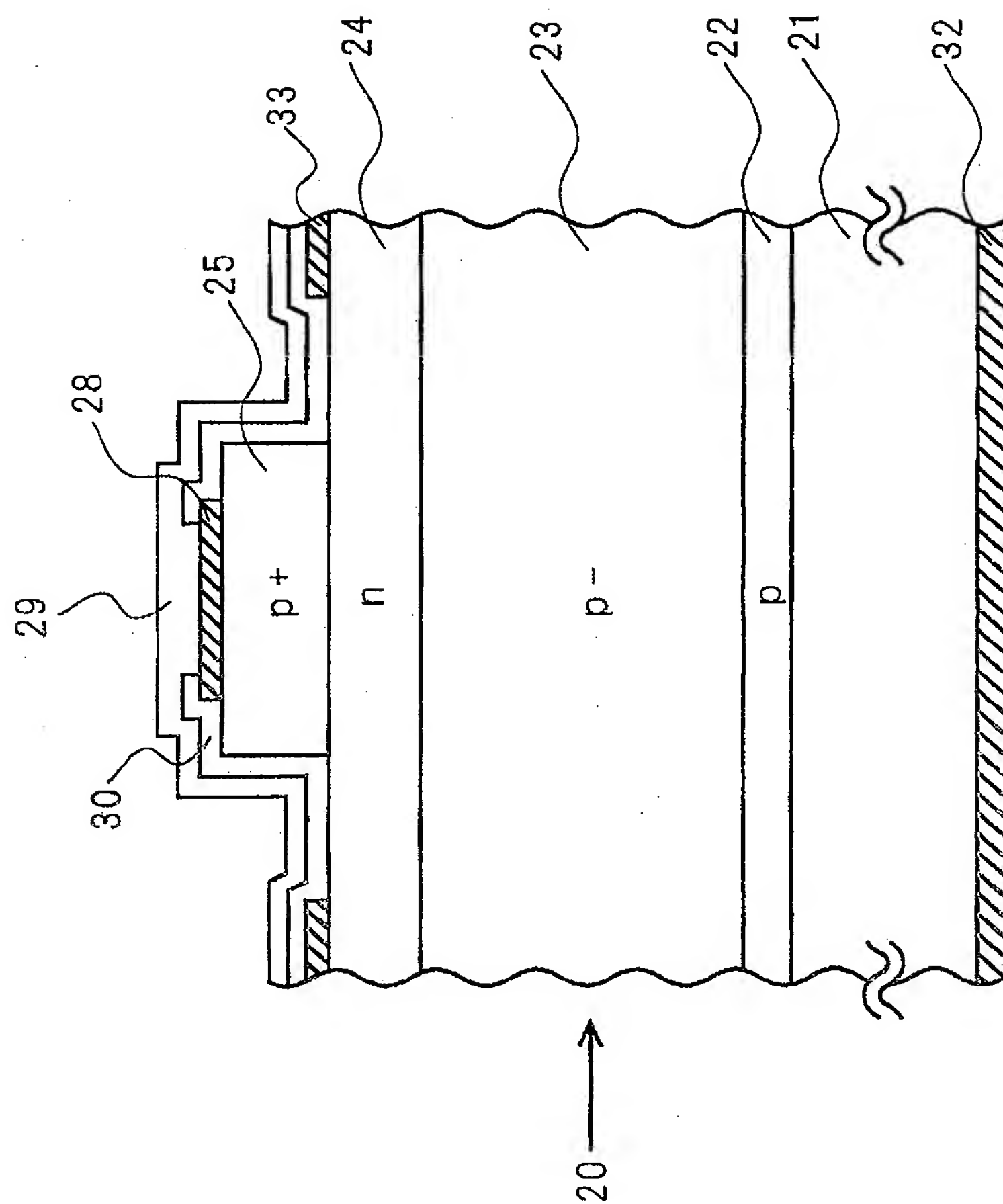
【図5】従来のSiCダイオード装置の断面図

【符号の説明】

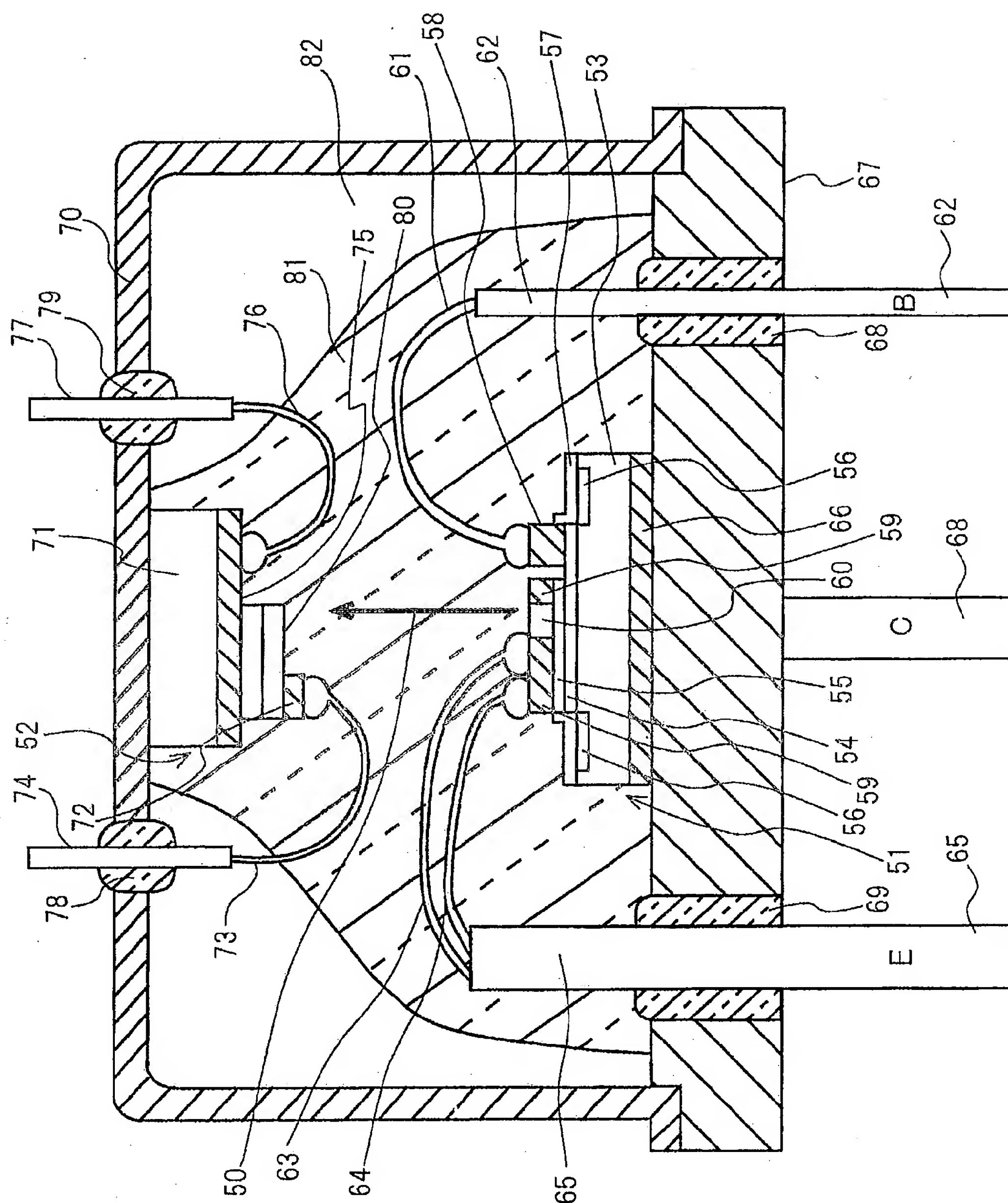
【0042】

- 1 カソード領域
- 2 ドリフト領域
- 3 アノード領域
- 4 電界緩和ターミネーション領域
- 5 パッシベーション膜
- 6 アノード電極
- 7 カソード電極
- 8 リード線
- 9 アノード端子
- 10 支持体
- 11 カソード端子
- 12 絶縁ガラス
- 14 金属キャップ
- 15 窒素などの不活性ガス
- 16、42、81 被覆体
- 21 カソード領域
- 22 pベース領域
- 23 pドリフト層
- 24 nベース領域
- 25 アノード領域
- 27 パッシベーション膜
- 29 アノード電極
- 31 ゲート電極
- 32 カソード電極
- 51 GaN npnバイポーラトランジスタ
- 52 SiCホトダイオード
- 53 コレクタ領域
- 54 ベース領域
- 55 エミッタ領域
- 57 パッシベーション膜
- 60 発光窓
- 80 受光部

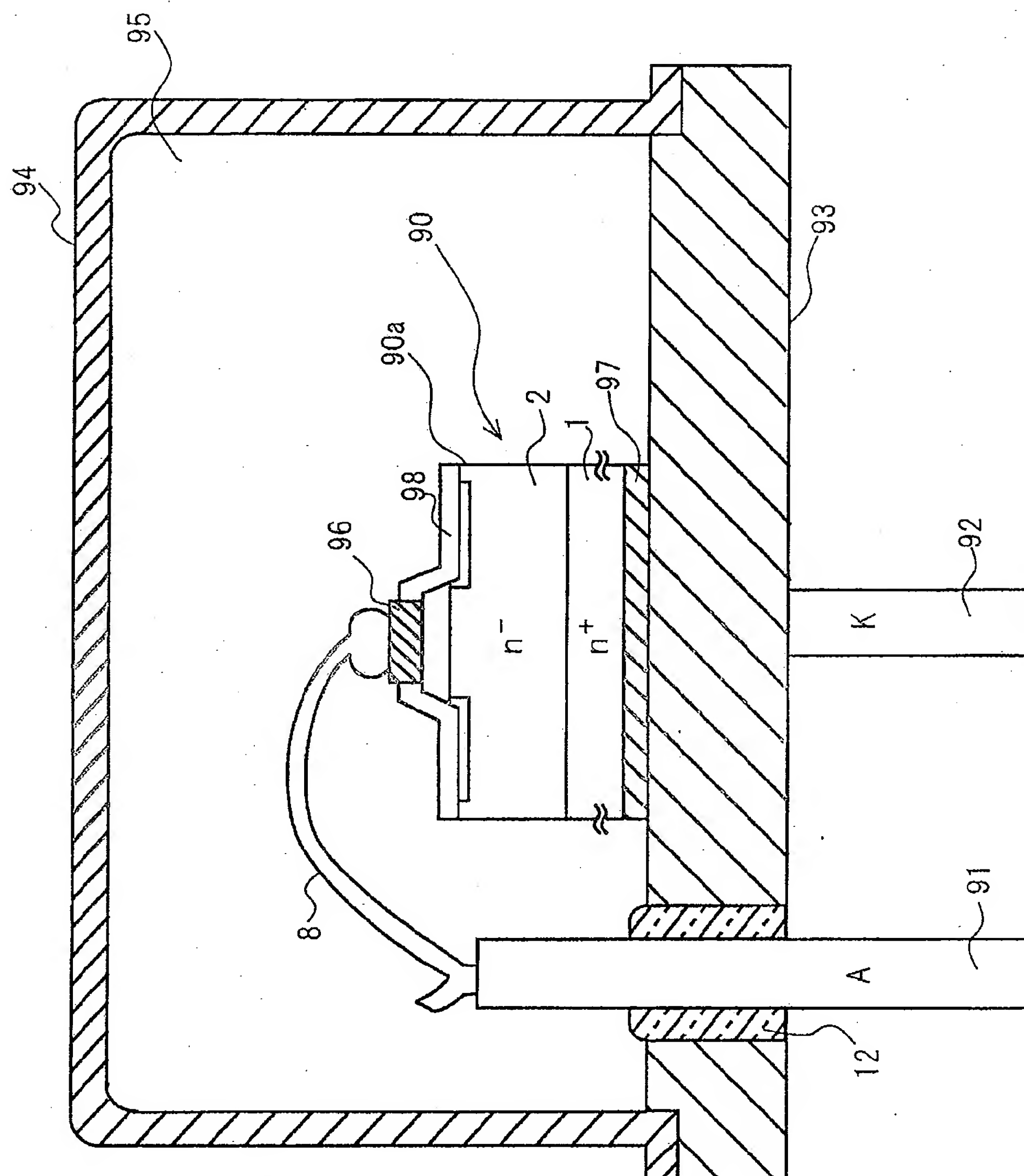
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 150℃以上の高温で使用するSiCなどのワイドギャップ半導体装置において、ワイドギャップ半導体素子の絶縁性を改善し、高耐電圧のワイドギャップ半導体装置を得ること。

【解決手段】 ワイドギャップ半導体素子の外面を、シロキサン(Si-O-Si結合体)による橋かけ構造を有する1種以上の有機珪素ポリマーAとシロキサンによる線状連結構造を有する1種以上の有機珪素ポリマーBとをシロキサン結合により連結させた有機珪素ポリマーC同士を、付加反応により生成される共有結合で連結させて三次元の立体構造に形成した合成高分子化合物で被覆する。

【選択図】 図1

特願 2003-283057

出願人履歴情報

識別番号

[000156938]

1. 変更年月日

1990年 8月10日

[変更理由]

新規登録

住所

大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号

氏名

関西電力株式会社